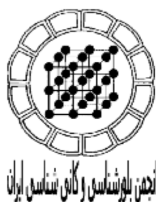
مجله
بلورشناسی و کانی شناسی ایران



سال بیست و چهارم، شمارهٔ اول، بهار ۹۵، از صفحهٔ ۱۱۱ تا ۱۱۸

بررسی ویژگی‌های مغناطیسی و بیناب سنجی موسبائر ذرات گارنت ایتریوم آهن بیسموتی $Y_{3-x}Bi_xFe_5O_{12}$ تهیه شده به روش سل-ژل

محمد نیایی فر*

گروه فیزیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اهواز

(دریافت مقاله: ۹۴/۱/۱۸، نسخه نهایی: ۹۴/۳/۹)

چکیده: در این پژوهش ذرات گارنت ایتریوم آهن بیسموتی $Y_{3-x}Bi_xFe_5O_{12}$ با مقادیر جانشانی (۰/۳ ،۰/۲ ،۰/۱ ،۰/۰) = x به روش سل-ژل تهیه شدند. تحلیل الگوهای پراش پرتو ایکس (XRD)، ساختار تک فاز اسپینلی را در تمام نمونه ها تایید کرد. چرخه های پسماند به دست آمده از مغناطش سنج ارتعاشی (VSM) نشان دهنده‌ی افزایش مغناطش اشباع تا ۰/۱ = x و سپس یک روند کاهشی در گستره‌ی x>۰/۱ است. این تغییرات به افزایش برهم‌کنش ابرتبادلی و شکافتگی حاصل از کج شدگی اسپینی در هر یک از زیر شبکه‌ها نسبت داده شد. همچنین برای دست‌یابی به بهترین همخوانی در تحلیل الگوهای بیناب سنج موسبائر (Mössbauer Spectroscopy)، از مدل توزیع تصادفی یون‌های Bi^{3+} در ساختار گارنت ایتریوم آهن (YIG) استفاده شد. این مدل اثر جانشانی یون بیسموت بر تغییر پارامترهای ابر ریز مغناطیسی را توجیه می‌کند و تایید کننده‌ی نتایج به دست آمده از تحلیل چرخه‌های پسماند مغناطیسی است.

واژه‌های کلیدی: *بیناب سنج موسبائر؛ مدل توزیع تصادفی؛ مغناطیس سنج ارتعاشی؛ گارنت ایتریوم آهن بیسموتی؛ سل-ژل.*

[DOR: 20.1001.1.17263689.1395.24.1.9.1]

مقدمه

در سال‌های اخیر، نانوذرات مغناطیسی گارنت ایتریوم آهن و ایتریوم آهن آلایش شده با عناصر مختلف به‌دلیل داشتن خواص مغناطیسی، اپتیکی و الکترونیکی، مورد توجه پژهشگران بسیاری قرار گرفته‌اند. از جمله کاربردهای بسیار متنوع این ذرات، می‌توان به استفاده آن‌ها در ابزارهای موج بری ناوارون، قطعات مجتمع اپتیکی، وسایل میکروموج، حافظه‌های مغناطونوری با کارآیی‌های بسیار بالا، چرخنده‌ها و جداکننده‌ها اشاره کرد [۱-۴].

گارنت ایتریوم آهن (YIG) یک فری مغناطیس با ساختار مکعبی است که هر یاخته قراردادی آن شامل هشت فرمول شیمیایی $Y_3Fe_5O_{12}$ است. این ماده که به گروه فضایی ($Ia3d(O^{10}_h$ تعلق دارد، شناخته شده‌ترین و مهم‌ترین ترکیب میان گارنت‌های آهن است و توزیع کاتیونی آن به‌صورت $\{Y^{+3}{}_3\}_c\ [Fe^{+2}{}_2]_a\ (Fe^{+3}{}_3)_d\ O_{12}$ نمایش داده می‌شود که در آن جایگاه‌های دوازده وجهی به‌وسیله‌ی یون ایتریوم و جایگاه-های چهاروجهی (d) و هشت وجهی (a) به وسیله‌ی یون‌های آهن اشغال شده‌اند به طوری که گشتاورهای مغناطیسی جایگاه‌های d و a به شکل پادموازی نسبت به یکدیگر جهت-گیری می‌کنند [۵]. پژوهش‌های ویتکوک و همکاران در سال ۱۹۵۷نشان داد که جا نشانی یون Bi^{3+} در ساختار YIG اثر فارادی را به شکل قابل توجهی افزایش می‌دهد [۶] و تا کنون پژوهشگران بسیاری به‌دلیل کاربردهای مغناطونوری این ترکیب به بررسی اثر جا نشانی عنصر بیسموت در شبکه‌ی گارنت ایتریوم آهن پرداخته‌اند [۷-۱۵].

*نویسنده مسئول، تلفن: ۷-۳۴۴۵۷۱۷۴ (۰۶۱)، نمابر: ۳۴۴۳۵۲۸۸ (۰۶۱)، پست الکترونیکی: md.niyaifar@gmail.com

با وجود پژوهش‌های فراوان، بررسی اندکی در زمینه‌ی تحلیل موسبائر این ترکیب گزارش شده است. در این راستا ژو و همکاران[۱] با بررسی طیف موسباور نمونه‌ی $Y_{2.0}Bi_{1.0}Fe_5O_{12}$، کاهش مغناطش ناشی از جا نشانی بیسموت را به شکافتگی زیر شبکه‌ها و کج شدگی اسپینی نسبت دادند ولی مدل ارائه شده برای دستیابی به بهترین همخوانی در طیف موسبائر دارای قاعده‌ی مشخصی نبود و تغییرات پارامترهای ابر ریز مغناطیسی (ناشی از جانشانی‌های متفاوت یون بیسموت) با استفاده از این مدل قابل توجیه نبود [۱۶]. در این پژوهش، از روش سل- ژل برای ساخت نمونه‌ها استفاده شد و اثر جانشانی یون بیسموت در ویژگی‌های ساختاری، مغناطیسی و پارامترهای ابر ریز مغناطیسی Bi-YIG با ارائه یک مدل توزیع، مورد بررسی قرار گرفت.

روش ساخت

ذرات گارنت ایتریوم آهن بیسموتی با ترکیب $Y_{3-x}Bi_xFe_5O_{12}$ و با مقادیر جانشانی (۰/۳، ۰/۲، ۰/۱، ۰/۰) = x به روش سل ژل تهیه شدند. برای ساخت نمونه‌ها، نخست بنابر روابط عنصرسنجی، محلولی از نمک های نیترات ایتریوم $Y(NO_3)_2.3H_2O$، نیترات آهن $Fe(NO_3)_2.9H_2O$ و نیترات بیسموت $Bi(NO_3)_2.5H_2O$ با خلوص ۹۹/۹۹ درصد در آب یون زدایی شده تهیه، و سپس محلول اسید سیتریک $C_3H_8O_7.H_2O$ به این محلول اضافه شد. تا محلولی از سیترات و نیترات با نسبت ۱:۳ به دست آمد این محلول با همزن مغناطیسی به مدت ۱۵ دقیقه در دمای اتاق هم زده شد و برای دستیابی به pH=۲ ، آمونیاک ده مولار به محلول حاصل افزوده شد. محلول نهایی به مدت ۲ ساعت در دمای ۸۰ درجه‌ی سانتیگراد گرما داده شد تا سل تولید شده به ژل تبدیل شود. سپس ژل به‌دست آمده را در دمای ۱۱۵ °C به مدت ۴۸ ساعت کاملاً خشک کردیم. در نهایت پودر خشک شده برای گرمادهی، در دمای ۱۰۰۰ °C به مدت ۳ ساعت در کوره قرار داده شد. الگوهای پراش پرتو ایکس[۲] (XRD) نمونه‌ها با استفاده از Seifert 3003 تهیه شدند. منحنی‌های پسماند مغناطیسی نمونه‌ها با یک مغناطش سنج ارتعاشی[۳] (VSM) ، ساخت شرکت مغناطیس دانش پژوه کاشان، در میدان بیشینه ۱۰kOe مورد بررسی قرار گرفتند. همچنین بیناب‌های موسبائر نمونه‌ها با استفاده از بیناب سنج موسبائر[۴] مدل 1101CM-Russia اندازه‌گیری شدند.

1- Xu et al
2- X-ray diffraction
3- Vibrating sample magnetometer

بحث و بررسی

بررسی ساختاری

الگوهای پراش پرتو ایکس ذرات گارنت ایتریوم آهن بیسموتی $Y_{3-x}Bi_xFe_5O_{12}$ با مقادیر جانشانی $۰/۰ \leq x \leq ۰/۳$، در شکل ۱ آورده شده‌اند. همخوانی الگوها با کارت استاندارد (۰۵۰۷-۰۰-۰۴۳)، تشکیل ساختار مکعبی اسپینلی را برای تمام نمونه‌ها تأیید کرد. میانگین اندازه‌ی بلورک‌ها با استفاده از فرمول دبای - شرر در بازه‌ی ۶۳-۵۲ نانومتر براورد شد. تغییرات ثابت شبکه در شکل۲ آورده شده‌اند. چنانکه مشاهده می‌شود با جانشانی یون بیسموت در ترکیب، ثابت شبکه افزایش می‌یابد که این افزایش به‌دلیل بزرگتر بودن شعاع یونی Bi^{3+} (۱/۱۷ Å) در مقایسه با شعاع یونی Y^{3+} (۱/۰۹ Å) است [۱۷] .

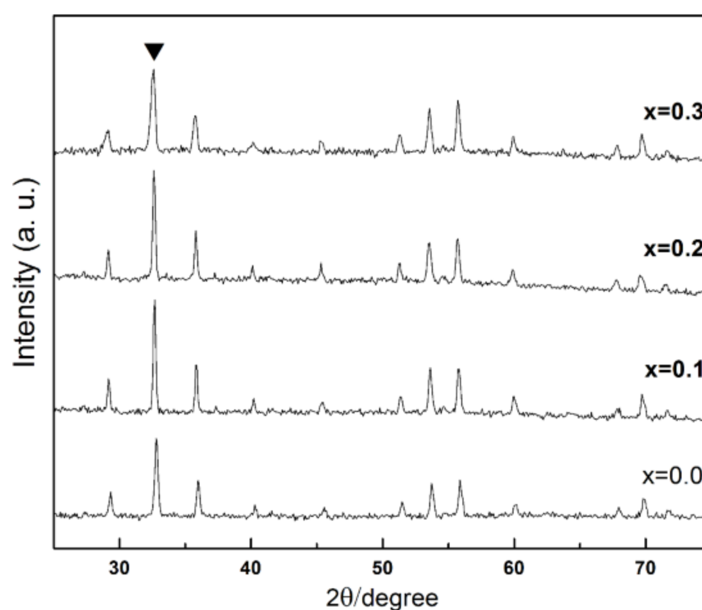
بررسی ویژگی‌های مغناطیسی

شکل۳ منحنی پسماند مغناطیسی نمونه‌های (۰/۳، ۰/۲، ۰/۱، ۰/۰ = x) $Y_{3-x}Bi_xFe_5O_{12}$ را در یک میدان بیشینه‌ی ۱۰ kOe و در دمای اتاق نشان می‌دهد. همچنین تغییرات مغناطش اشباع (Ms) نمونه‌ها بر حسب میزان جانشانی در شکل آورده شده‌اند. مقدار مغناطش اشباع نمونه‌ها با افزایش میزان جانشانی یون Bi^{3+} از x = ۰/۰ تا x = ۰/۱ افزایش می‌یابد و سپس برای نمونه‌های جانشانی شده به میزان x>۰/۱ روند کاهشی دارد. بر مبنای نظریه نیل، گشتاورهای مغناطیسی یون‌های آهن در زیرشبکه‌های a و d نسبت به یکدیگر دارای نظم پادفرومغناطیس هستند و مغناطش کل در ساختار YIG برابر است با [۱۸]:

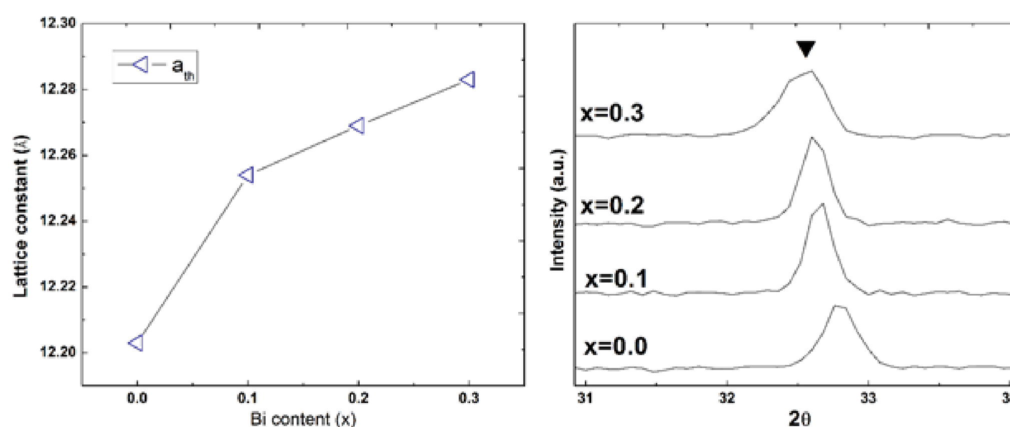
$$M = |M_d - M_a| - M_c$$

که مقدار مغناطش جایگاه c به‌دلیل وجود یون دیامغناطیس Y^{3+} در این جایگاه، برابر صفر است. بنابرین انتظار می‌رود با جانشانی یون دیامغناطیس Bi^{3+} به‌جای ایتریوم، مقدار مغناطش کل تغییر نکند. در توجیه تغییرات مغناطش مشاهده شده در این کار، اثر اختلاف شعاع یونی بیسموت نسبت به ایتریوم در ساختار گارنت ایتریوم آهن در نظر گرفته شد.

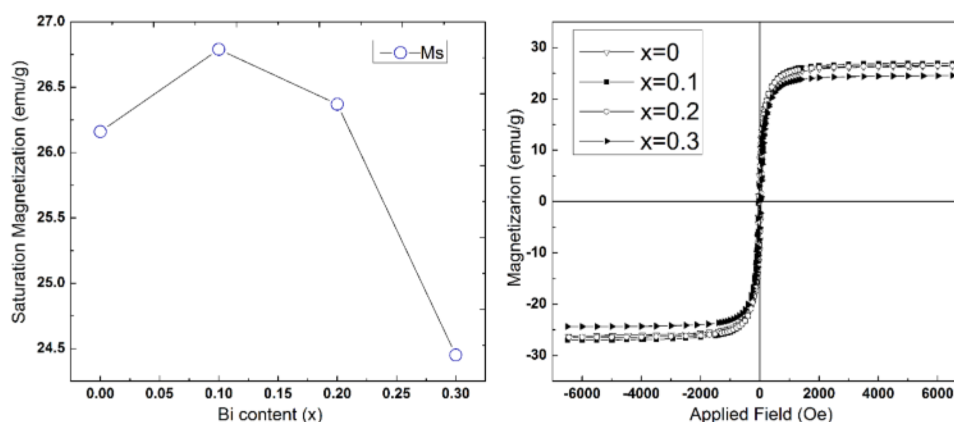
4-Mössbauer spectroscopy



شکل ۱ الگوی پراش پرتو x نمونه‌های $Y_{3-x}Bi_xFe_5O_{12}$ با میزان جانشانی (x =۰/۰، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳).



شکل۲ الگوهای پراش پرتو x در بازه ۳۴-۳۱ درجه و تغییرات ثابت شبکه نمونه‌های $Y_{3-x}Bi_xFe_5O_{12}$ برحسب میزان جانشانی (x =۰/۰، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳).



شکل۳ منحنی‌های پسماند مغناطیسی و تغییرات مغناطش اشباع نمونه‌های $Y_{3-x}Bi_xFe_5O_{12}$ برحسب میزان جانشانی (x =۰/۰، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳).

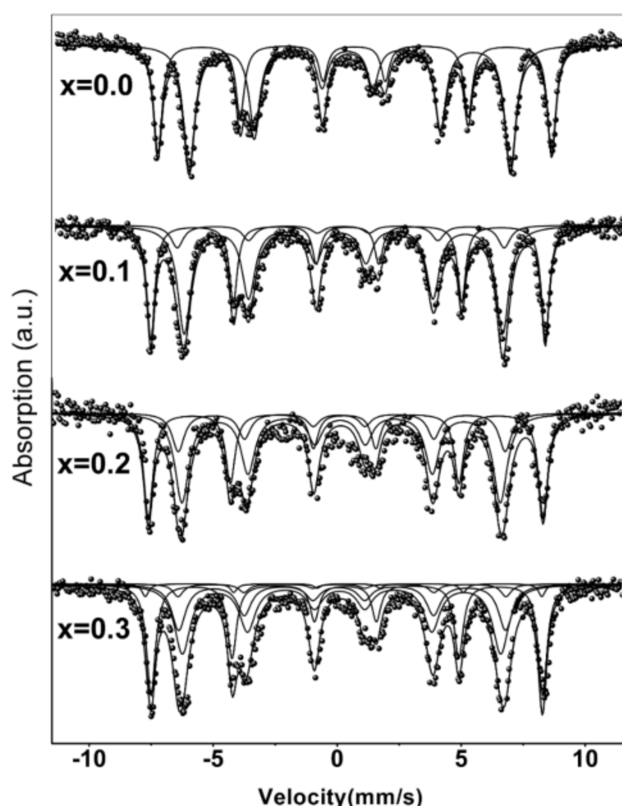
با توجه به گزارش‌های ارائه شده توسط کیم و همکاران[۵] و لیو و همکاران[۶]، ورود یون بیسموت با شعاع یونی بزرگتر نسبت به شعاع یونی ایتریوم، ساختار بلوری را دستخوش آشفتگی کرده و سبب افزایش برهم‌کنش ابرتبادلی و جفت شدگی اسپین-مدار می‌شود [۲۰،۱۹]. در واقع بالاتر بودن دمای کوری ساختار Bi-YIG (۵۹۱ K) نسبت به دمای کوری گارنت ایتریوم آهن (۵۵۳ K) [۲۱] را می‌توان به دلیل افزایش برهم‌کنش ابرتبادلی ناشی از جانشانی بیسموت در ساختار بلوری دانست. بنابرین، افزایش مشاهده شده تا $x = ۰/۱$ را می‌توان به افزایش برهم‌کنش ابرتبادلی بین یون‌های آهن در زیرشبکه های چهار وجهی و هشت وجهی نسبت داد.

با افزایش میزان جانشانی یون بیسموت در نمونه های جانشانی شده با $x > ۰/۱$، آشفتگی ایجاد شده در ساختار بلوری افزایش یافته و سبب شکافتگی هر یک از زیر شبکه های a و d به چندین زیر شبکه‌ی مغناطیسی با سمتگیری‌های اسپینی متفاوت خواهد شد. افزایش یون‌های بیسموت در نزدیکترین همسایگی هر یک از زیر شبکه ها میزان شکافتگی ناشی از کج شدگی اسپینی را افزایش می‌دهد و مغناطش اشباع کل کاهش میابد. بنابرین کاهش مغناطش اشباع مشاهده شده در نمونه-های $x>۰/۱$ را می‌توان به چیرگی اثر کاهش مغناطش به اثر افزایش برهم‌کنش ابرتبادلی نسبت داد.

بررسی بیناب سنج موسبائر

شکل۴ الگوهای به‌دست آمده از بیناب سنجی موسبائر نمونه-های $Y_{3-x}Bi_xFe_5O_{12}$ (x =۰/۰، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳) را در دمای اتاق نشان می‌دهد. در این شکل نقاط نشان دهنده‌ی طیف‌های تجربی-آزمایشگاهی[۷] و خط ممتد[۸] حاصل برهم‌نهی طیف‌های نظری است. با توجه به شکل، نمونه‌ی $x = ۰/۰$ حاصل برهم-نهی دو زیر طیف شش‌تایی وابسته به یون‌های آهن در جایگاه های چهاروجهی و هشت وجهی است. در این نمونه میدان ابر ریز مغناطیسی[۹] (H_{hf}) برای زیر طیف شش تایی مربوط به یون‌های Fe^{3+} در جایگاه a (۴۸T) بزرگ تر از میدان ابر زیر Fe^{3+}در جایگاه d (۳۹T) است. به‌طور کلی برهم‌کنش ابر ریز مغناطیسی ناشی از برهم‌کنش فرمی کانتکت[۱۰] بین هسته و اسپین‌های قطبیده در مدارهای s است. بنابرین اختلاف مشاهده شده در H_{hf} به دلیل تاثیر یونش مداری ۳d یون‌های آهن بر قطبیدگی مدارهای s و کوچکتر بودن طول پیوند Fe-O در جایگاه‌های d نسبت به مقدار وابسته به جایگاه a است [۲۲].

آیزومر جابه‌جایی[۱۱] (IS) زیرطیف شش تایی وابسته به یون‌های Fe^{3+} در چهاروجهی کمتر از مقادیر وابسته به آن در هشت وجهی است. این تفاوت ناشی از اختلاف پیوند هم‌ارزی Fe-O در دو جایگاه است. در پیوندهای یونی- هم‌ارزی، یون Fe^{3+} دارای آرایش الکترونی $۳d^5\,۴s^{\varepsilon}$ به جای $۳d^5$ است که در آن مقدار x نشان دهنده‌ی میزان یونی بودن ترکیب است (با افزایش مقدار ε ویژگی یونی کاهش و میزان هم‌ارزی ترکیب افزایش می‌یابد. با توجه به اینکه طول پیوندهای Fe-O در جایگاه‌های d نسبت به a کوتاهتر است، پیوند هم‌ارزی در جایگاه چهار وجهی بیشتر و تعداد الکترون‌های مدار $۴s^{\varepsilon}$ بیشتر



شکل۴ الگوهای موسبائر نمونه‌های $Y_{3-x}Bi_xFe_5O_{12}$ با میزان جانشانی (x =۰/۰، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳).

5- Kim et al.
6- Liu et al.
7- Experimental data
8- Fitted data
9- Magnetic hyperfine field
10- Fermi contact
11- Isomer shift

[DOR: 20.1001.1.17263689.1395.24.1.9.1]

است. در نتیجه چگالی الکترونی هسته در جایگاه d نسبت به جایگاه a بیشتر است. بنابرین جابه‌جایی همیاری یون‌های آهن در جایگاه‌های چهاروجهی کمتر از مقادیر وابسته در هشت وجهی است [۲۳]. با افزایش میزان جانشانی Bi^{3+} در نمونه های $x = ۰/۱$ تا $x = ۰/۳$، زیر طیف‌های شش تایی در هر دو جایگاه a و d پهن شده‌اند. برای توجیه این پهن شدگی، توزیع تصادفی یون های Bi^{3+} در جایگاه دوازده وجهی مورد بررسی قرار گرفت. در ساختار $Y_{3-x}Bi_xFe_5O_{12}$ هر یون آهن در جایگاه چهاروجهی دارای شش همسایه‌ی نزدیک و هر یون آهن در جایگاه هشت وجهی دو همسایه‌ی نزدیک به جایگاه c دارند. با این دیدگاه، هفت همسایه‌ی نزدیک متفاوت برای جایگاه d انتظار میرود؛ $۶Y^{3+}$، $(۱Bi^{3+}+۵Y^{3+})$، $(۲Bi^{3+}+۴Y^{3+})$، $(۳Bi^{3+}+۳Y^{3+})$، $(۴Bi^{3+}+۲Y^{3+})$، $(۵Bi^{3+}+۱Y^{3+})$ و $۶Bi^{3+}$. احتمال حضور P_d هر کدام از همسایه‌های نزدیک جایگاه d با استفاده از فرمول توزیع زیر محاسبه شد.

$$P_d(x,n) = \frac{6!}{n!(6-n)!}\left(1-\frac{x}{3}\right)^n \left(\frac{x}{3}\right)^{6-n}$$

از طرف دیگر، سه جایگاه متفاوت a متناسب با همسایه های نزدیک جایگاه c قابل انتظارند؛ $۲Y^{3+}$، $(۱Bi^{3+}+۱Y^{3+})$ و $۲Bi^{3+}$ و احتمال حضور یون‌های آهن در جایگاه a با هر کدام از این همسایه با فرمول توزیع زیر محاسبه شد.

$$P_a(x,n) = \frac{2!}{n!(2-n)!}\left(1-\frac{x}{3}\right)^n \left(\frac{x}{3}\right)^{2-n}$$

در این رابطه x مقدار Bi^{3+} جا نشانی شده در ترکیب و n تعداد یون‌های Y^{3+} نزدیک ترین همسایه‌ی یون‌های آهن در جایگاه‌های a و d هستند. احتمال P_d و P_a محاسبه شده برای نمونه‌های $x = ۰/۱$ تا $x = ۰/۳$ در جدول ۱ آورده شده‌اند و با در نظر گرفتن مقادیر بالاتر از ۰/۰۹ طیف‌های نظری حاصل برهمنهی عبارتند از سه زیرطیف شش‌تایی کمینه ($x = ۰/۱$)، و پنج زیر طیف شش تایی بیشینه ($x = ۰/۳$).

براساس مدل مطرح شده و الگوی بهترین همخوانی بدست آمده، انتظار می‌رود که میدان ابر ریز مغناطیسی هر زیرطیف شش تایی با افزایش تعداد یون‌های Bi^{3+} در همسایگی یون‌های آهن، افزایش یابد. در واقع افزایش H_{hf} به علت افزایش الکترون $۴^{\varepsilon}s$ ناشی از کاهش طول پیوند Fe-O است. همچنین، با افزایش تعداد یون‌های بیسموت در نزدیکترین همسایگی یون‌های آهن مقدار جابه‌جایی آیزومری در هر دو جایگاه a و d روند کاهشی خواهد داشت. این کاهش به علت تغییر هم‌ارزی ناشی از جانشانی یون Bi^{3+} با شعاع بزرگتر نسبت به یون Y^{3+} است. با در نظر گرفتن مدل یاد شده پارامترهای موسبائر حاصل از این تحلیل در جدول ۲ آورده شده‌اند.

جدول ۱ احتمال حضور یون‌های بیسموت و ایتریوم با ترکیب متفاوت برحسب تعداد یون‌های ایتریوم (n) در نزدیک‌ترین همسایه جایگاه‌های چهاروجهی (Pd) و هشت وجهی(Pa) محاسبه شده با استفاده از فرمول توزیع.

n		x =۰/۱		x =۰/۲		x =۰/۳
	Pa	Pd	Pa	Pd	Pa	Pd
۶		۰/۸۱۵		۰/۶۶۱		۰/۵۳۱
۵		۰/۱۶۸		۰/۲۸۳		۰/۳۵۴
۴		۰/۰۱۴		۰/۰۵۰		۰/۰۹۸
۳		$۶/۷×۱۰^{-۴}$		۰/۰۰۴		۰/۰۱۴
۲	۰/۹۳۴	$۱/۷×۱۰^{-۵}$	۰/۸۷۱	$۲/۵×۱۰^{-۴}$	۰/۸۱۰	۰/۰۰۱
۱	۰/۰۶۴۴	$۲/۴×۱۰^{-۷}$	۰/۰۶۲	$۷/۳×۱۰^{-۶}$	۰/۰۹۰	$۵/۴×۱۰^{-۵}$
۰	۰/۰۰۴	$۱/۳×۱۰^{-۹}$	۰/۰۰۱	$۸/۷×۱۰^{-۸}$	۰/۰۱۰	$۱/۳×۱۰^{-۹}$

جدول۲ مقادیر جابه‌جایی همیاری (IS)، شکافت چهارقطبی(QS)، میدان ابر ریز مغناطیسی(H_{hf})، پهنای قله‌ی (w) و نسبت یون‌های آهن (Area) در جایگاه‌های چهاروجهی و هشت و جهی به‌دست آمده از بهترین همخوانی در الگوهای موسبائر.

ترکیب $Y_{3-x}Bi_xFe_5O_{12}$	جایگاه	جابه‌جایی آیزومری IS (mm/s)	شکافت چهارقطبی QS (mm/s)	میدان فوق ریز مغناطیسی H_{hf} (T)	پهنای پیک w (mm/s)	Area(%)
$Y_3Fe_5O_{12}$	a	۰٫۳۷۴	-۰٫۰۲	۴۸٫۲۴	۰٫۴۰	۳۹٫۴
	d	۰٫۱۴۵	-۰٫۰۹	۳۹٫۳۵	۰٫۵۳	۶۰٫۶
$Y_{2.9}Bi_{0.1}Fe_5O_{12}$	a	۰٫۳۶۸	-۰٫۰۲	۴۹٫۳۵	۰٫۳۸	۳۵٫۳
	d_1	۰٫۱۳۹	-۰٫۱۰	۳۹٫۸۲	۰٫۶۳	۵۴٫۲
	d_2	۰٫۱۳۲	-۰٫۱۰	۴۰٫۹۱	۰٫۵۹	۱۰٫۵
$Y_{2.8}Bi_{0.2}Fe_5O_{12}$	a	۰٫۳۵۲	-۰٫۰۴	۴۹٫۴۳	۰٫۴۵	۳۶٫۵
	d_1	۰٫۱۳۷	-۰٫۰۳	۳۹٫۸۳	۰٫۶۸	۴۶٫۲
	d_2	۰٫۱۳۳	-۰٫۱۰	۴۰٫۹۴	۰٫۵۹	۱۷٫۳
$Y_{2.7}Bi_{0.3}Fe_5O_{12}$	a_1	۰٫۳۵۰	-۰٫۰۵	۴۹٫۵۲	۰٫۴۳	۳۳٫۶
	a_2	۰٫۳۳۸	-۰٫۲۰	۴۹٫۶۶	۰٫۳۲	۲٫۹
	d_1	۰٫۱۳۸	-۰٫۰۷	۳۹٫۸۷	۰٫۷۷	۳۷٫۲
	d_2	۰٫۱۳۴	-۰٫۱۰	۴۰٫۹۶	۰٫۶۸	۲۱٫۹
	d_3	۰٫۱۳۱	-۰٫۱۰	۴۱٫۰۷	۰٫۵۰	۴٫۴

برداشت

در این پژوهش برای آماده سازی نمونه‌های $Y_{3-x}Bi_xFe_5O_{12}$ (x = ۰٫۰، ۰٫۱، ۰٫۲، ۰٫۳) از روش سل-ژل استفاده شدند و تحلیل الگوهای پراش پرتو ایکس ساختار اسپینلی نمونه‌ها را تایید کرد. همچنین افزایش پارامتر ثابت شبکه با در نظر گرفتن اختلاف شعاع یونی Bi^{3+} نسب به Y^{3+}، توضیح داده شد. بررسی چرخه‌های پسماند نشان داد که مغناطش اشباع با افزایش میزان جانشانی تا x = ۰٫۱ به مقدار بیشینه خود می‌رسد و با افزایش بیشتر بیسموت روند کاهشی دارد. تغییر رفتار مغناطیسی نمونه‌ها به چیرگی اثر کاهشی ناشی از کج شدگی اسپینی در زیر شبکه‌ها، به اثر افزایشی برهم‌کنش ابرتبادلی نسبت داده شد. همچنین اثر جانشانی در تغییر پارامترهای ابر ریز مغناطیسی با استفاده از مدل توزیع تصادفی یون‌های Bi^{3+} در بیناب سنجی موسبائر ^{57}Fe بررسی شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده از بهترین همخوانی در الگوهای موسبائر، افزایش میدان ابر ریز مغناطیسی و کاهش جابه‌جایی همیاری را می‌توان به تغییر طول پیوند و هم‌ارزی ناشی از جانشانی یون بیسموت در ساختار YIG نسبت داد.

قدردانی

این مقاله حاصل از طرح پژوهشی است که با تصویب و حمایت مالی معاونت پژوهش وفناوری دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز اجرا گردیده است.

مراجع

[1] Ristic M., Nowik I., Popovic S., Felner I., Music S., *"Influence of synthesis procedure on the*

YIG formation", Materials Letters 57 (2003) 2584-2590.

[2] Ravi B. G., Guo X. Z., Yan Q. Y., Gambino R. J., Sampath S., Parise J. B., *"Phase evolution and magnetic properties of Al substituted yttrium iron garnet nanopowders and plasma-sprayed coatings",* Surface and Coatings Technology 201 (2007) 7597-7605.

[3] Wang C. C., Yu W. T., *"Synthesis of yttrium iron garnet using polymer–metal chelate precursor",* Journal of Colloid and Interface Science 306 (2007) 241-247.

[4] Lee J.W., Oh J. H., *"Magneto-optical properties of Bi-YIG nanoparticles dispersed in the organic binder",* Journal of Magnetism and Magnetic Materials 272 (2004) 2230-2232.

[5] Menzer G., *"Die kristall structure der granate",* z. kristallogr 69 (1928) 300-396.

[6] Wittekoek S., Popma T. J. A., Robertson J. M., Bongers P. F., *"Magneto-optic spectra and the dielectric tensor elements of bismuth-substituted iron garnets at photon energies between 2.2-5.2 eV",* Physical Review B 12 (1975) 2777-2788.

[7] Ishibashi T., Mizusama A., Nagai M., Shimizu S., Sato K., Togashi N., Mogi T., Houchido M., Sano H., Kuriyama K., *"Characterization of epitaxial $(Y,Bi)_3(Fe,Ga)_5O_{12}$ thin films grown by metal-organic decomposition method",* Journal of Applied Physics 97 (2005) 013516-013516-4

[8] Matsumoto K., Yamaguchi K., Fujii T., Ueno A., *"Preparation of bismuth substituted yttrium iron garnet powders by the citrate gel process",* Journal of Applied Physics 69 (1991) 5918-5920.

[9] Zhao H., Zhou J., Bai Y., Gui Z., Li L., *"Effect of Bi-substitution on the dielectric properties of polycrystalline yttrium iron garnet",* Journal of Magnetism and Magnetic Materials 280 (2004) 208–213.

[10] Amighian J., Hasanpour A., Mozaffari M. *"The effect of Bi mole ratio on phase formation in $Bi_xY_{3-x}Fe_5O_{12}$ nanoparticles",* physica status solidi (c) 1(2004) 1769–1771.

[11] Yahya N., Hean G. K., *"High Saturation Induction for Bi-Substituted Yttrium Iron Garnet Prepared Via Sol Gel Technique",* American Journal of Applied Sciences 4 (2007) 80-84.

[12] Pigošová J., Cigáň A., Maňka J., *"Thermal Synthesis of Bismuth-Doped Yttrium Iron Garnet for Magneto-Optical Imaging",* Measurement science review 8 (2008) 126-128.

[13] Fu Y.-P., Tsai F.-Y., *"Nonisothermal Crystallization Kinetics of $Bi_xY_{3-x}Fe_5O_{12}$ ($0.25<x<1.00$) Prepared from Coprecipitation Process",* Journal of the American Ceramic Society 91(2008) 1214–1217.

[14] Wu Y.J., Fu H. P., Hong R.Y., Zheng Y., Wei D. G., *"Influence of surfactants on co-precipitation synthesis of Bi–YIG particles",* Journal of Alloys and Compounds 470 (2009) 497–501.

[15] Lee H., Yoon Y., Kim S., Yoo H. K., Melikyan H., Danielyan E., Babajanyan A., Ishibashi T., F. Barry, Lee K., *"Preparation of bismuth substituted yttrium iron garnet powder and thin film by themetal-organic decomposition method",* Journal of Crystal Growth 329 (2011) 27–32.

[16] Xu H., Yang H., Xu W., Yu L., *"Magnetic properties of Bi-doped $Y_3Fe_5O_{12}$ nanoparticles",* Current Applied Physics 8 (2008) 1-5.

[17] Strocka B., Holst P., Toklsdorf W., *"An empirical formula for the calculation of lattice constants of oxide garnets based on substituted yttrium- and gadolinium-iron garnets",* Philips Journal of Research 33 (1978)186-202.

[18] Thongmee S., Winotai P., *"Local field fluctuations in the substituted aluminum iron garnets, $Y_3Fe_{5-x}Al_xO_{12}$",* Solid State Communications 109 (1999) 471-476.

[19] Kim T., Nasu S., Shima M., *"Growth and magnetic behavior of bismuth substituted yttrium iron garnet nanoparticles",* Journal of Nanoparticle Research 9 (2007) 737–743.

[20] Liu Y. L., Mou D., Li X.Y., Zhang P.X., *"Brillouin scattering from bismuth substituted yttrium iron garnet single crystals",* IEE Transactions on Magnetics 23 (1987) 3329–3330.

[21] Geller S., Williams H. J., Espinosa G. P., Sherwood R. C., and Gilleo M. A., *"Reduction of*

the Preparation Temperature of Polycrystalline Garnets by Bismuth Substitution", Applied Physics Letters 3 (1963)21-22.

[22] Watsonr E., Freeman A. J., *"Origin of Effective Fields in Magnetic Materials",* Physical Review 123 (1961) 2027-2047.

[23] Chen, Y. L., Yang, D. P., *"Mossbauer Effect in Lattice Dynamics",* WILEY-VCH Verlag GmbH.KGaA, Weinheim and Co. KGaA (2007) 35-37.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1395.24.1.9.1]